

Mobile Augeninnen-druckmessung

Von der Palpation bis zu ersten klinischen Erfahrungen mit dem handgehaltenen dynamischen Konturtonometer

Das Glaukom umfasst unterschiedliche Krankheiten mit dem gemeinsamen Merkmal einer charakteristischen Schädigung des Sehnerven mit nachfolgenden Gesichtsfelddefekten. Man betrachtet einen individuell zu hohen Augeninnendruck (IOD) als wichtigsten Risikofaktor der Schädigung. Der Früherkennung des Glaukoms mittels Augendruckmessung, objektiver oder subjektiver Fundoskopie mit Beurteilung der Papillenmorphologie und funktioneller Perimetrie kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu, insbesondere auch, da die Sehnervenschädigung irreversibel ist.

Bei den ersten Druckmessverfahren bediente man sich zwar der handgehaltenen Form und seit den 1960er Jahren ist auch eine handgehaltene Form der Goldmann-Appplanationstonometrie (Perkins [22], Draeger [7]) erhältlich, doch die Messgenauigkeit und die Untersucherabhängigkeit dieser mobilen Appplanationstonometer wiesen im klinischen Gebrauch Mängel auf. Das als Goldstandard geltende Goldmann-Appplanationstonometer (GAT) ist an die Spaltlampe gebunden und somit nur am sitzenden Patienten anwendbar. Mit dem dynamischen Konturtonometer PASCAL® (DCT), das von den strukturellen Eigenschaften des Auges weniger abhängig ist als das GAT, steht ein weiteres spaltlampenfixiertes Gerät zur

Verfügung. Im klinischen Alltag ist es unter Umständen notwendig, den Augeninnendruck auch unabhängig von der Spaltlampe mit derselben Genauigkeit messen zu können, sei dies am Patientenbett, im Operationssaal oder bei Patienten, die nicht an der Spaltlampe untersucht werden können, wie Z. B. Kinder, ältere Patienten mit evtl. orthopädischen Erkrankungen (Z. B. Morbus Bechterew) oder adipöse Patienten. Mit dem handgehaltenen DCT wurde die ursprüngliche Idee der mobilen Tonometrie wieder aufgenommen. Das Ziel war, dieselbe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Druckmessungen zu erreichen wie mit der spaltlampenadaptierten DCT.

Historischer Abriss

Bereits 1622 stellte Banister einen eindeutigen Zusammenhang zwischen erhöhtem IOD und einer glaukomatösen Erkrankung des Sehnerven fest. 1830 schrieb Mackenzie: „*The eyeball in glaucomatous amourosis always feels firmer than natural*“. Die Palpation des Augapfels durch die Augenlider ist somit die älteste, einfachste und billigste Methode, um den Augeninnendruck zu schätzen. Aufgrund der Untersucherabhängigkeit wird sie heute nur noch zur groben Orientierung angewandt oder kann hilfreich sein, wenn keine andere Methode zur Verfügung steht oder diese zu großen Fehlern führen würden.

Im Gegensatz dazu steht die manometrische Messung des IOD mittels einer Kanüle, die in die Augenvorderkammer eingebracht wird. Manometrische Messungen können in vivo durchgeführt werden, wobei der Messvorgang sehr aufwendig und durchaus auch fehlerbehaftet sein kann. Der Indikation sind aufgrund der Invasivität enge Grenzen gesteckt. Allerdings liefern manometrische Messungen den Referenzdruck, an dem viele Tonometer geeicht wurden [11, 16].

Die ersten mechanischen Tonometer wurden nach dem Prinzip der Verformbarkeit von flüssigkeitsgefüllten Kugeln mit elastischer Hülle gebaut. Aus dem Verhältnis der Verformung zur aufgewendeten Kraft können Rückschlüsse auf den intraokularen Druck gestellt werden. Hierzu gibt es grundsätzlich zwei physikalische Möglichkeiten: Es kann entweder die Kraft für eine bestimmte Verformung bzw. für die Abplattung der Hornhaut (Applanationstonometrie) oder die durch eine bestimmte Kraft erzeugte Verformung (Impressionstonometrie) gemessen werden.

Handgehaltene Impressionstonometrie

1862 präsentierte von Graefe eine Anleitung zur Konstruktion eines ersten Tonometers (■ Abb. 1). Er bediente sich dem Impressionsverfahren und beschrieb damit bereits die Grundzüge der noch heute

verbreiteten Impressions-tonometer. Unklar ist, ob das Gerät je konstruiert und angewandt wurde. Auch die Weiterentwicklungen durch zahlreiche Forscher lieferten kein zuverlässiges, am Menschen anwendbares Tonometer. Der Hauptgrund lag darin, dass bis in die 1880er Jahre die Hornhaut noch nicht anästhesiert werden konnte und sämtliche mechanischen Druckmessungen transpalpebral erfolgen mussten. 1905 entwickelte Schiötz [26] sein wegweisendes handgehaltenes Tonometer. Die IOD-Messungen erfolgten am liegenden Patienten. Es arbeitet nach dem Prinzip der Impressions-tonometrie: Mittels Gravitationskraft delt ein kleiner Zylinder die zentrale Hornhaut bei einem weichen Auge tiefer ein als bei einem harten Auge. Der Erfolg des Geräts lässt sich v. a. auf dessen einfacher Handhabung, der mechanischen Anspruchslosigkeit und dessen Robustheit zurückführen. Es wird in Entwicklungsländern heute noch verbreitet angewandt.

Handgehaltene Applanationstonometrie

Bereits 1868 war das Geburtsjahr der Applanationstonometrie. Weber erkannte die Nachteile der Impressions- gegenüber der Applanationstonometrie. Er schrieb, dass durch die Erzeugung einer bestimmten Eindrucktiefe eine Volumenminderung entstehe, die sich in einer erhöhten Spannung der Augenhüllen und aufgrund der Inkompressibilität von Kammerflüssigkeit in einem artifiziell höheren IOD äußern müsse. Seine revidierte Methode bestand darin, nur einen kleinen Abschnitt des Auges abzuflachen und so scheinbare Unabhängigkeit von den Elastizitätsverhältnissen des Auges zu erreichen. Jedoch war es schwierig, bei sich verändernder Applanationskraft den Augenblick der völligen Abplattung zu erkennen.

Livschitz löste 1904 dieses Problem: Durch die Verwendung eines total reflektierenden Prismas konnte die Berührungsfläche mit der Kornea von der Seite her beobachtet werden und der Zeitpunkt der Applanation bestimmt werden. Dieses Messverfahren hat Goldmann in den 1950er Jahren aufgegriffen und das Prinzip in seine GAT einfließen lassen.

Ophthalmologe 2010 · 107:676–682 DOI 10.1007/s00347-010-2175-y
© Springer-Verlag 2010

U. Schmid · C. Kniestedt

Mobile Augeninnendruckmessung. Von der Palpation bis zu ersten klinischen Erfahrungen mit dem handgehaltenen dynamischen Konturtonometer

Zusammenfassung

Die Goldmann-Applanationstonometrie gilt immer noch als der Goldstandard der Augeninnendruckmessung und spielt bei der Früherkennung des Glaukoms eine zentrale Rolle. Die Applanationstonometrie wird normalerweise am sitzenden Patienten an der Spaltlampe durchgeführt. Manchmal ist es jedoch notwendig, den Augeninnendruck (IOD) spaltlampenunabhängig messen zu können. Mit den handgehaltenen Geräten wird die Druckmessung ins Krankenzimmer, in den Operationssaal sowie zu Patienten, die nicht in sitzender Position an der Spaltlampe untersuchen werden können, gebracht. Das dynamische Konturtonometer (DCT) stellt eine neue Methode der direkten intraokularen Druckmessung dar. Es arbeitet nach dem Prinzip der piezoelektronischen Konturan-

passtonometrie und soll weniger von den biomechanischen Eigenschaften der Hornhaut abhängig sein. Neben dem IOD kann auch die okulare Pulsamplitude erfasst werden. Bisher fanden die DCT-Messungen spaltlampenadaptiert statt. Wir präsentieren einen portablen Prototyp des Geräts. Im Vergleich mit dem Perkins-Tonometer und dem TONO-PEN XL zeigt das handgehaltene DCT eine geringere Intra- und Interuntersuchervariabilität. Außerdem bietet das Gerät die Möglichkeit, die okulare Pulsamplitude (OPA) in liegender Position zu erfassen.

Schlüsselwörter

Handgehaltene Tonometrie · Dynamische Konturtonometrie · Okulare Pulsamplitude

Mobile intraocular pressure measurement. From palpation to initial clinical experience with the handheld dynamic contour tonometer

Abstract

Goldmann applanation tonometry is still the gold standard of intraocular pressure measurement (IOP) and an essential part in the diagnosis of glaucoma. Applanation tonometry is usually performed on a sitting patient at the slit lamp. However, under certain circumstances it is necessary to measure the IOP outside the office setting. With handheld devices the measuring procedure is brought to bedside and surgery theatres, as well as to patients who are not able to sit behind the slit lamp. The dynamic contour tonometer (DCT) represents a new method of direct IOP measurement. Its physical principle is based on piezo-electronic contour matching tonometry and is claimed to be less dependent on

biochemical properties of the cornea. Besides the IOP, the ocular pulse amplitude can also be measured. Until now, the DCT had been available as a slit lamp mounted device. In this report, we present a portable prototype of the device. In comparison with the Perkins tonometer and the TONO-PEN XL, the handheld DCT shows smaller intra- and inter-examiner variability. Additionally, the device offers the unique possibility to display the ocular pulse amplitude while the patient is in a horizontal position.

Keywords

Handheld tonometry · Dynamic contour tonometry · Ocular pulse amplitude

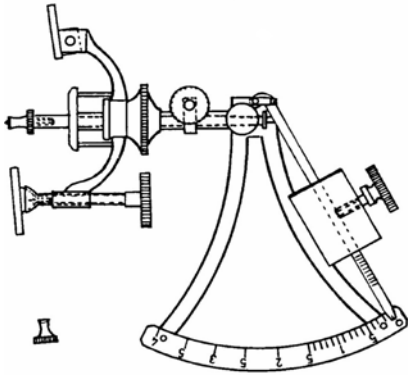


Abb. 1 ▲ Skizze der Konstruktion des ersten (tranpalpebralen) Impressionstonometers von von Graefe. (Mit freundl. Genehmigung der S. Karger AG, Basel [6])

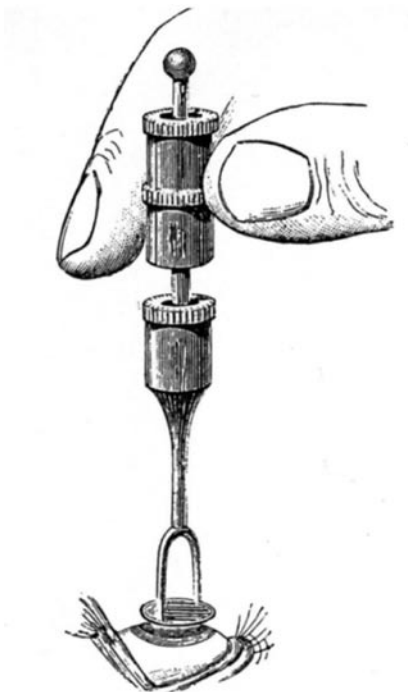


Abb. 2 ▲ Tonometer nach Maklakoff. (Mit freundl. Genehmigung der S. Karger AG, Basel [6])

Maklakoff entwickelte um 1885 eine andere Variante von Applanationstonometer (■ **Abb. 2**). Er mass nicht den für eine gewisse Applanation nötigen Druck, sondern übte einen konstanten Druck auf die Hornhaut aus und maß die dadurch applanierte Fläche.

Diese Geräte nach dem Fick-Livschitz- und dem Maklakoff-Prinzip waren v. a. im östlichen Europa weit verbreitet. In den westlichen Ländern wurden sie trotz der theoretisch anerkannten Überlegenheit der Applanationstonometrie kaum verwendet.

Spaltlampenadaptierte Applanationstonometrie

Bis in die 1950 Jahre waren sämtliche Druckmessverfahren handgehalten. Vor allem die Abhängigkeit der Messresultate von den Fähigkeiten der Untersucher stellte ein Problem dar. Die interindividuelle Varianz war groß. Je nach Platzierung des Messkörperchens auf dem Auge war aber auch die intraindividuelle Reproduzierbarkeit ungenügend. Der Durchbruch in der präzisen Augen-druckmessung gelang erst 1954 Goldmann u. Schmidt [9], als er ein Applanationstonometer (GAT) einführte, das an die Spaltlampe adaptiert am sitzenden Patienten den Augeninnendruck messen konnte. Erstmals wurde mit variabler Kraft und konstanter Deformation der Hornhaut an der Spaltlampe gearbeitet. Die Kraft bei der GAT wird so eingestellt, dass ein definiertes Hornhautareal durch die Messkörpervorderfläche abgeplattet wird. Goldmann u. Schmidt konnten zeigen, dass sich für Durchmesser des Abplattungsareals zwischen 3,0 und 3,5 mm der elastische Druck der Hornhautverformung und die entgegengesetzt gerichtete Kapillarkraft des Tränenfilms aufheben. Der Durchmesser des Applanationsareals wurde aus Praktikabilitätsgründen auf 3,06 mm festgelegt. Bei dieser Abplattungsfläche entspricht ein Druck von 0,1 g Gewicht einer Quecksilbersäule von 1 mm Höhe. Somit kann das Ablesen bei entsprechender Eichung sofort in mmHg erfolgen. Dieses Tonometer übertraf alle bisherigen an Genauigkeit und es wurde zum Goldstandard, gegen welchen noch heute alle Tonometer gemessen werden.

Spaltlampenadaptiertes dynamisches Konturtonometer

Das dynamische Konturtonometer [11, 15] verwendet ein neues Prinzip zur nichtinvasiven, direkten, transkornealen intraokularen Druckmessung. Es misst, wie in zahlreichen Studien gezeigt werden konnte, unabhängig von biomechanischen Eigenschaften der Hülle des Auges wie Hornhautdicke [12], Hydratationszustand der Hornhaut, Alter und individuelle Rigidität. Zudem misst es den

Druck kontinuierlich. Das grundlegende Prinzip der DCT ist, dass eine oberflächenunabhängige Druckmessung erreicht wird, wenn die Hornhaut eine bestimmte Form (Kontur) einnimmt. Durch das DCT-Köpfchen mit einem Krümmungsradius von 10,5 mm wird die Hornhaut in die Form gebracht, die sie natürlicherweise einnimmt, wenn auf beiden Seiten der Kornea der gleiche Druck herrscht. Das Kräftefeld zwischen Köpfchen und Hornhaut um den Apex entspricht somit demjenigen, das durch den IOD erzeugt wird. Der IOD kann dadurch exakt transkorneal vom piezoresistiven Drucksensor gemessen werden.

Das DCT kann zusätzlich die okulare Pulsamplitude (OPA), die ein indirekter Indikator der choroidalen Perfusion ist, messen. Die OPA gibt den okularen Blutfluss entsprechend dem Herzpuls als Funktion der Zeit an. Sie scheint diverse Formen des Glaukoms charakterisieren zu können [25].

Zeitgenössische handgehaltene Tonometer

Handgehaltene Applanationstonometrie

Perkins [22] und Draeger [7] entwickelten nach dem Prinzip von Goldmann handgehaltene portable Geräte (■ **Abb. 3**), die beide eine akzeptable Übereinstimmung mit dem Goldmann-Applanationstonometer aufwiesen [1, 18] und somit in der Klinik große Verwendung fanden. Die bessere Handlichkeit des Perkins-Tonometers erklärt seinen häufigeren Gebrauch. Die handgehaltenen Geräte von Perkins und Draeger, ebenso wie das spaltlampenadaptierte Goldmann-Tonometer, werden von strukturellen Eigenschaften des Auges beeinflusst [4, 8, 19]. Bereits Goldmann u. Schmid gaben 1957 zu bedenken, dass eine Abhängigkeit von der Hornhautdicke möglich sei. Zahlreiche Studien zeigten, dass die Hornhautdicke erheblichen Streuungen unterliegt und dass die Applanationstonometrie außerhalb der kornealen Durchschnittsdicke an Genauigkeit verliert [4, 5]. Dieser Effekt hat außerdem auch bei den durch refraktive Eingriffe veränderten Hornhäuten Relevanz [20, 24, 27].

Hier steht eine Anzeige.





Abb. 3 ◀ Das heute gebräuchliche, 1965 eingeführte Perkins-Tonometer. (Mit freundl. Genehmigung von Wiley-Blackwell, Oxford, UK [14])



Abb. 4 ◀ TONO-PEN XL. (Mit freundl. Genehmigung von Wiley-Blackwell, Oxford, UK [14])



Abb. 5 ◀ Das handgehaltene DCT PASCAL® mit Displayanzeige. (Mit freundl. Genehmigung von Wiley-Blackwell, Oxford, UK [14])



Abb. 6 ◀ Das handgehaltene DCT PASCAL® in Seitenansicht. (Mit freundl. Genehmigung von Wiley-Blackwell, Oxford, UK [14])

Handgehaltene Kombination von Impressions- und Applanationstonometrie

Ein weiteres Gerät, das bei physiologischen IOD mit dem Goldmann-Applanationstonometer vergleichbare Werte liefert, ist das TONO-PEN XL (TPXL); **Abb. 4**), die handgehaltene Version des Mackay-Marg-Tonometers. Es kombiniert die Impressions- und Applanationstonometrie, indem bei der Berührung der Hornhaut ein kleiner Stempel (Applanationsfläche) in die umgebende bewegliche Fussplatte gedrückt wird, was zu einer charakteristischen Spannungsänderung im Gerät führt [3, 28]. Das TONO-PEN XL liefert jedoch bei Werten unter 9 mmHg zu hohe und bei solchen über 21 mmHg zu tiefe Werte im Vergleich mit dem GAT [3, 17, 28].

Rebound-Tonometrie

1913 wurde durch Obbink die Rebound-Tonometrie eingeführt. Dabei stößt eine Testspitze auf das Auge und prallt an diesem ab. Durch die Kontakt- bzw. Abbremszeit kann auf den IOD geschlossen werden. Das daraus entstandene, automatisch messende iCARE ist ein handgehal-

tenes Tonometer, bei dem keine Hornhautanästhesie nötig ist. Es scheint den IOD im Vergleich zum GAT zu überschätzen. Außerdem wurde eine signifikante, positive Korrelation zur zentralen Hornhautdicke, noch stärker als beim GAT, gefunden [10]

Handgehaltenes dynamisches Konturtonometer

Neu steht nun auch ein handgehaltenes Konturtonometer (Swiss Microtechnology AG Port) zur Verfügung (**Abb. 5, 6**). Das Handheld-DCT (HH-DCT) misst nach dem gleichen Prinzip wie das spaltlampenadaptierte DCT (Slit-Lamp-mounted-DCT, SL-DCT).

In einer am Universitätsspital Zürich durchgeführten Studie [13] wurde ein Prototyp des HH-DCT mit dem Perkins-Applanationstonometer (PAT) und dem TONO-PEN XL verglichen (**Tab. 1**). Der Messbereich (**Tab. 2**) des Augeninnendrucks unterschied sich dabei zwischen den Geräten signifikant. Die Unterschiede der mittleren IOD-Messungen stimmen gut mit früheren Studien des SL-DCT und spaltlampenadaptierten GAT überein. Während die mittlere IOD-Differenz bei HH-

DCT – PAT 2,99 mmHg betrug, konnten bei SL-DCT – GAT mittlere IOD-Differenzen zwischen 1,0 und 3,2 mmHg gezeigt werden [2, 12, 21, 28]. Der Grund für diese Unterschiede könnte die Kalibrierung des DCT gegen einen manometrisch kontrollierten Druckstandard und weniger gegen GAT sein. Somit würden die DCT-Werte genauer den wahren IOD repräsentieren als die GAT-Werte. Kniestedt et al. [16] zeigten in einem experimentellen Aufbau, dass das DCT den IOD näher beim manometrischen Referenzdruck misst als das GAT.

Im Liegen sollten wegen des erhöhten episkleralen Venendrucks höhere mittlere IOD-Werte gemessen werden als im Sitzen. Wozniak et al. [31] zeigten dies für den PAT mit $1,8 \pm 2,7$ mmHg und Viestenz et al. [29] für den TPXL mit $0,8 \pm 1,9$ mmHg signifikant. In der Studie mit dem HH-DCT wurden mit dem PAT und dem TPXL abnormal tiefe mittlere IOD gemessen. Dieser Umstand lässt auch vermuten, dass die im Liegen gemessenen IOD-Werte vom HH-DCT näher beim wahren IOD liegen als die vom PAT und TPXL gemessenen IOD-Werte.

Die Ergebnisse der IOD-Messungen mit dem neuen HH-DCT sind bezüglich der Intraobservervariabilität besser als mit dem PAT und dem TPXL. Ansonsten konnte mit dem HH-DCT kein signifikanter Unterschied ($p=0,68$) im Messbereich zwischen erfahrenen Ophthalmologen (Untersucher 1–3) und einem unerfahrenen Medizinstudenten (Untersucher 4) festgestellt werden.

Neu kann mit dem HH-DCT in jeder Position des Patienten, d. h. auch im Liegen, die okulare Pulsamplitude gemessen werden. Gemäß Studien mit dem SL-DCT scheint die OPA als neuer Parameter diverse Formen des Glaukoms charakterisieren zu können [25]. So zeigten Patienten mit okularer Hypertonie die höchsten OPA-Werte [23], während beim Niederdruckglaukom tiefere OPA-Werte im Vergleich zu gesunden Augen gefunden wurden. Weiter wurde gezeigt, dass eine erhöhte OPA mit weniger schwerem Glaukom, gemessen an der tieferen vertikalen und horizontalen „cup-disc ratio“, assoziiert ist [30]. Da mit dem HH-DCT neu auch im Liegen die OPA bestimmt werden kann, ergeben sich neue diagnos-

tische Möglichkeiten. So könnte z. B. bei Glaukompatienten, die am Morgen sehr hohe IOD-Werte in Verbindung mit tiefem Blutdruck aufweisen, die OPA-Bestimmung als prognostischer Parameter verwendet werden. Insgesamt bietet die OPA, v. a. im Liegen, noch viel Raum für weitere Forschung. In Anbetracht des zunehmenden Wissens über den Effekt der biometrischen Eigenschaften des Auges auf die IOP-Werte bei der Applanations-tonometrie, der steigenden Anzahl der Patienten mit einer Geschichte von hornhautrefraktären Operationen und der zunehmenden Zahl von adipösen oder orthopädischen Patienten bietet das neue handgehaltene dynamische Konturtonometer für die IOD- und OPA-Messung eine wertvolle Alternative zu den etablierten handgehaltenen, spaltlampen-unabhängigen Tonometern.

Fazit für die Praxis

Für die im klinischen Alltag wichtige spaltlampenunabhängige Augeninnendruckmessung stehen verschiedene handgehaltene Tonometer zur Verfügung:

- das Perkins-Applanations-tonometer und Draeger-Applanations-tonometer, welche die handgehaltenen Versionen des als Goldstandard geltenden Goldmann-Applanations-tonometer darstellen;
- das TONO-PEN XL, das die Impressions- mit der Applanations-tonometrie verbindet und im Bereich physiologischer Augeninnendrucke mit dem Goldmann-Applanations-tonometer vergleichbare Werte liefert, jedoch bei Werten unter 9 mmHg zu hohe und bei solchen über 21 mmHg zu tiefe Werte misst;
- neu ist das handgehaltene dynamische Konturtonometer, das eine hohe Intraobserverreproduzierbarkeit aufweist und weniger von den strukturellen Eigenschaften der Hornhaut abhängig ist [13]. Durch die kontinuierliche Druckmessung und der damit verbundenen Fähigkeit der Messung der okularen Pulsamplitude im Liegen eröffnet es neue Interpretationmöglichkeiten der Drucksituati-

on am Sehnerven in liegender Position über Zeit.

Korrespondenzadresse

PD Dr. C. Kniestedt

Augenklinik, Universitätsspital Zürich
Frauenklinikstraße 24, 8091 Zürich
Schweiz

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Baskett JS, Goen TM, Terry JE (1986) A comparison of Perkins and Goldmann applanation tonometry. *J Am Osteopath Assoc* 57:832–834
2. Cup-disc-Ratio Brusini P, Salvat ML, Zeppieri M et al (2006) Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *J Glaucoma* 15:213–217
3. Deuter CM, Schlote T, Hahn GA et al (2002) Measurement of intraocular pressure using the Tono-Pen in comparison with Goldmann applanation tonometry – a clinical study in 100 eyes. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 219:138–142
4. Doughty MJ, Jonuscheit S (2007) Effect of central corneal thickness on Goldmann applanation tonometry measures – a different result with different pachymeters. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 245:1603–1610
5. Doughty MJ, Zaman ML (2000) Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 44:367–408
6. Draeger J (1966) Tonometry. Physical fundamentals, Development of methods and clinical application. Karger
7. Draeger J (1967) Principle and clinical application of a portable applanation tonometer. *Invest Ophthalmol* 6:132–134
8. Francis BA, Hsieh A, Lai MY et al (2007) Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 114:20–26
9. Goldmann H, Schmidt T (1965) On applanation tonography. *Ophthalmologica* 150:65–75
10. Iliev ME, Goldblum D, Katsoulis K et al (2006) Comparison of rebound tonometry with Goldmann applanation tonometry and correlation with central corneal thickness. *Br J Ophthalmol* 90:833–835
11. Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC (2005) Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 14:344–350
12. Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA (2004) Comparison of dynamic contour tonometry with goldmann applanation tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 45:3118–3121
13. Knecht PB, Schmid U, Romppainen T et al (2009) Hand-held dynamic contour tonometry. *Acta Ophthalmol* 1755–3768 (Electronic)
14. Knecht PB, Schmid U, Romppainen T et al (2009) Hand-held dynamic contour tonometry. *Acta Ophthalmol* [Epub ahead of print]
15. Kniestedt C, Kanngiesser HE (2006) Dynamic contour tonometry. *Ophthalmologie* 103:713–721; quiz 722–713
16. Kniestedt C, Nee M, Stamper RL (2004) Dynamic contour tonometry: a comparative study on human cadaver eyes. *Arch Ophthalmol* 122:1287–1293
17. Kooner KS, Cooksey JC, Barron JB et al (1992) Tonometry comparison: Goldmann versus Tono-Pen. *Ann Ophthalmol* 24:29–36

Tab. 1 Zusammenfassung der IOD-Messungen der 3 Geräte

Messung		Mittlerer IOD (mmHg), n=92	SD (mmHg)
HH-DCT	1.	17,02	2,91
	2.	17,05	2,89
	3.	16,83	2,65
	Total	16,97	2,71
PAT	1.	13,90	2,65
	2.	13,93	2,69
	3.	14,10	2,71
	Total	13,98	2,52
TPXL	1.	13,14	2,88
	2.	13,54	3,01
	3.	13,33	2,87
	Total	13,34	2,68

HH-DCT Handheld-DCT, PAT Perkins-Applanations-tonometer, TPXL TONO-PEN XL

Tab. 2 Mittlerer Bereich von 3 aufeinanderfolgenden Messungen aller Geräte und aller Untersucher zeigt die Intraobservervariabilität

Untersuchte Patientenzahl (n)	Gerät	Mittlerer Bereich (mmHg=SD)
Alle Untersucher zusammengefasst		
92	HH-DCT	1,45=1,07
92	PAT	1,87=0,97
92	TPXL	2,08=1,77
Untersucher 1		
17	HH-DCT	1,26=0,70
24	PAT	2,04=0,91
28	TPXL	2,46=2,37
Untersucher 2		
25	HH-DCT	1,54=1,33
26	PAT	1,96=1,08
20	TPXL	1,80=1,70
Untersucher 3		
39	HH-DCT	1,46=0,80
17	PAT	1,71=1,00
19	TPXL	2,26=1,63
Untersucher 4		
11	HH-DCT	1,51=1,66
25	PAT	1,72=0,94
25	TPXL	1,72=0,94

HH-DCT Handheld-DCT, PAT Perkins-Applanations-tonometer, TPXL TONO-PEN XL

18. Kriegelstein GK, Waller WK (1975) Goldmann applanation versus hand-applanation and. schiötz indentation tonometry. Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol 194:11–16
19. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E et al (2006) Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and goldmann tonometry. Ophthalmology 113:2156–2162
20. Muller L, Kohnen T (2009) Influence of residual corneal bed thickness after myopic LASIK on intraocular pressure measurements: Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. Ophthalmologie 106:21–28
21. Pache M, Wilmsmeyer S, Lautebach S, Funk J (2005) Dynamic contour tonometry versus Goldmann applanation tonometry: a comparative study. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 243:763–767
22. Perkins ES (1965) Hand-held applanation tonometer. Br J Ophthalmol 49:591–593
23. Punjabi OS, Ho HK, Kniestedt C et al (2006) Intraocular pressure and ocular pulse amplitude comparisons in different types of glaucoma using dynamic contour tonometry. Curr Eye Res 31:851–862
24. Rashad KM, Bahnassy AA (2001) Changes in intraocular pressure after laser in situ keratomileusis. J Refract Surg 17:420–427
25. Romppainen T, Kniestedt C, Bachmann LM, Sturmer J (2007) Ocular pulse amplitude: a new biometrical parameter for the diagnose of glaucoma? Ophthalmologie 104:230–235
26. Schiötz H (1905) Ein neues Tonometer. Arch Augenheilk 52:401
27. Shemesh G, Man O, Michaeli A et al (2007) Pressure phosphene tonometry versus Goldmann applanation tonometry for measuring intraocular pressure before and after LASIK. J Refract Surg 23:405–409
28. Viestenz A, Langenbucher A, Viestenz A (2006) Reproducibility of dynamic contour tonometry. Comparison with TonoPen XL and Goldmann applanation tonometry – a clinical study on 323 normal eyes. Klin Monatsbl Augenheilkd 223:813–819
29. Viestenz A, Lausen B, Junemann AM, Mardin CY (2002) Comparison of precision of the TonoPen XL with the Goldmann and Draeger applanation tonometer in a sitting and recumbent position of the patients – a clinical study on 251 eyes. Klin Monatsbl Augenheilkd 219:785–790
30. Weizer JS, Asrani S, Stinnett SS, Herndon LW (2007) The clinical utility of dynamic contour tonometry and ocular pulse amplitude. J Glaucoma 16:700–703
31. Wozniak K, Koller AU, Spori E et al (2006) Intraocular pressure measurement during the day and night for glaucoma patients and normal controls using Goldmann and Perkins applanation tonometry. Ophthalmologie 103:1027–1031

Sehverlust kostet Volkswirtschaften über 2 Milliarden Euro im Jahr

Die AMD Alliance International (AMDAl) gibt erstmals Daten zu den durch Sehbehinderungen und Blindheit verursachten Kosten für die globale Volkswirtschaft bekannt. Diese belaufen sich allein für das Jahr 2008 auf fast drei Billionen US-Dollar (2.189 Milliarden Euro). Die Schätzungen gründen sich auf die 733 Millionen blinde oder schwer sehbehinderte Menschen verursachten Belastungen. Expertenschätzungen zufolge werden die Zahlen bis zum Jahr 2020 weiter massiv ansteigen, wenn nicht weltweit entsprechende Präventionsmaßnahmen getroffen und Therapien zugänglich gemacht werden. Die volkswirtschaftlichen Belastungen könnten durch nationale Maßnahmenkataloge für die Augengesundheit verringert werden. Diese müssten wirksame Präventionsmaßnahmen ebenso umfassen wie Strategien, die einen breiten Zugang zu effizienter Behandlung und Rehabilitation ermöglichen. Experten und Aktivisten der AMD Alliance International und der Welt-Blinden-Union empfehlen die Umsetzung der folgenden Maßnahmen:

- Augen-Screening-Untersuchungen für Diabetiker und ältere Menschen mit hohem Risiko für Retinopathien, Makuladegeneration oder Glaukom
- Verbesserte Aus- und Fortbildung von Ärzten aus Entwicklungsländern für Katarakt-Operationen
- Verbesselter Zugang zu leistbaren Sehhelfen
- Finanzierung von und Zugang zu Medikamenten gegen Flussblindheit und Trachoma
- Früherkennung und rechtzeitige Behandlung von Augenerkrankungen bei Kindern, einschließlich Katarakt und Glaukom

Es gab zwar bereits in der Vergangenheit gesundheitsökonomische Daten zu Blindheit und Sehverlust für einzelne Staaten, jedoch sind erst durch diese Studie globale Daten aus einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive verfügbar gemacht worden. Die errechneten Kosten beinhalten neben den direkt für das Gesundheitssystem anfallende Kosten auch indirekte Kosten: Geschätzte 17

Prozent der weltweiten Gesamtkosten gehen allein auf das Konto der verloren gegangenen Produktivität- unter anderem aufgrund von Behinderung, frühzeitigem Tod oder der Arbeitszeit von pflegenden Angehörigen.

Quelle: AMD Alliance International (AMDAl), www.amdalliance.org